



(12) **Offenlegungsschrift**  
(10) **DE 41 07 207 A 1**

(51) Int. Cl. 5:  
**G 07 C 3/00**  
H 02 K 15/00  
G 01 M 15/00  
G 01 M 19/00

(21) Aktenzeichen: P 41 07 207.3  
(22) Anmeldetag: 4. 3. 91  
(43) Offenlegungstag: 10. 9. 92

**DE 41 07 207 A 1**

**BEST AVAILABLE COPY**

(71) Anmelder:  
Elektro-Apparate-Werke Berlin GmbH, O-1193  
Berlin, DE

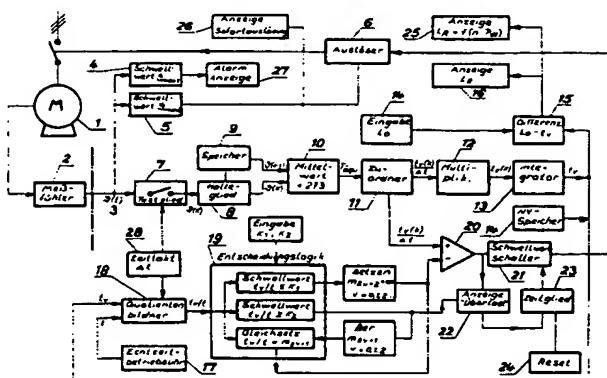
(72) Erfinder:  
Busch, Rudolf, Dr.-Ing., O-3035 Magdeburg, DE;  
Gebauer, Eckehard, Dr.-Ing., O-1195 Berlin, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

(54) Verfahren und Einrichtung zum Schutz und Führen von Elektromotoren, anderen elektrischen Betriebsmitteln oder Elektroanlagen nach Kriterien der Lebensdauer

(57) Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Einrichtung für den Schutz, den Betrieb und die Anzeige der Restlebensdauer von Motoren und anderen elektrischen Betriebsmitteln nach Kriterien der Lebensdauer, die insbesondere durch die thermische Belastung bestimmt wird unter Nutzung von Modelleinrichtungen und/oder Temperatursensoren und Einrichtungen zum Überwachen der Temperatur und Bilden von Parameterwerten über die verbrauchte Lebensdauer und zum Vorhersagen der jeweils verbleibenden Lebensdauer.

Erfindungsgemäß wird in definierten bzw. abhängig von der Betriebsweise des zu schützenden Motors bzw. Betriebsmittels bestimmbaren Zeitabschnitten ein dessen Lebensdauerverbrauch charakterisierender Meßwert gebildet, durch Vergleich mit der abgelaufenen Betriebszeit der bisherige Lebensdauerverbrauch bestimmt und daraus werden wiederum Entscheidungen getroffen für den Motorschutz bzw. die Betriebsführung für den nächsten Zeitabschnitt auf Basis der die Motorlebensdauer bestimmenden und durch einen Meßwert erfaßten Parameter.



## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Einrichtung für den Schutz, den Betrieb und die Anzeige der Restlebensdauer von Motoren, insbesondere der Wicklungen von Elektromotoren, deren Temperatur sich mehr oder weniger in der Nähe der Wicklungsgrenztemperatur bewegt, aber auch allgemein für Elektromotoren oder andere elektrische Betriebsmittel, auch elektrische Verteilungsanlagen, deren Lebensdauer wesentlich von der Betriebstemperatur bestimmt wird.

Eine vor mehreren Jahren durchgeführte weltweite Analyse der Auslastung von Elektromotoren, insbesondere von Drehstromsynchrongmotoren, hat ergeben, daß diese im Mittel nur zu etwa 60% in bezug auf ihre Nennleistung ausgelastet sind. Das hat verschlechterte Werte des Wirkungsgrades, insbesondere aber des Leistungsfaktors zur Folge. Dies führt zu einer höheren Stromaufnahme, zu höheren Leitungsverlusten oder aber zur Verlegung größerer Leitungsquerschnitte. Da viele Millionen solcher Motoren sich im Einsatz befinden, existiert hier ein großes Einsparungspotential an Elektroenergie bzw. an Leitungskupfer, wenn man anstelle der unterlasteten Maschinen Elektromotoren benutzt, die mit ihrer Nennleistung bzw. in der Nähe ihrer Nennleistung belastet werden. Da in diesen Fällen stets der Übergang zu einem kleineren Motor erfolgt, kommen weitere Einsparungen hinzu, die sich aus der geringeren Motormasse ergeben, also Einsparungen an Wicklungskupfer, hochwertigem Magneteisen, Isoliermaterialien usw. Sie liegen ebenfalls in erheblichen Größenordnungen. Beispielsweise würde sich im unteren Leistungsbereich beim Ersatz eines mit 60% belasteten durch einen für diesen Fall 100%ig belasteten kleineren Motor eine Masseeinsparung von etwa 30% erzielen lassen.

Die Existenz solch großer Möglichkeiten zur Einsparung an Elektroenergie und Material hat zu den verschiedensten Anstrengungen in bezug auf die Erhöhung und Optimierung der Auslastung von Elektromotoren geführt. Für Dauerbetrieb bedeutet Optimierung Betrieb mit der Nennleistung, bei der etwa die Grenztemperatur der Wicklung erreicht wird. Die hierfür gültige Nennwicklungslebensdauer ist bei diesen Bedingungen näherungsweise bekannt.

In der Regel überwiegen jedoch die Anwendungsfälle, insbesondere an den für den Gesamtbetrieb kritischen Stellen, bei denen Motoren unter stark schwankenden Belastungen betrieben werden müssen. Für dieses wechselnde Belastungsregime kann eine optimale Auslastung im Mittel nur dann erreicht werden, wenn die Motoren zeitweise überlastet werden, um die in den Unterlastphasen entstandenen Defizite bzw. Reserven wieder auszugleichen. Dabei hängt die in den Überlastphasen nutzbare Wicklungstemperatur von der Höhe der Defizite bzw. Reserven in den Unterlastphasen ab. Die Temperaturgrenze kann also nach oben nicht fest sondern muß fließend bzw. ausnutzbar bis zu einer den unmittelbaren Ausfall der Wicklung verursachenden Temperatur sein. Damit ist es aber nicht mehr möglich, die bisher übliche Motorschutztechnik, die generell auf die Überwachung einer festen Temperaturgrenze ausgerichtet ist, anzuwenden. Das gilt sinngemäß auch für andere elektrische Betriebsmittel.

Bisher wurden zum Schutz von Motoren bzw. auch anderen elektrischen Betriebsmitteln (z. B. Transformatoren, Verteilungsanlagen), deren Lebensdauer wesent-

lich von der Temperatur abhängt, Einrichtungen eingesetzt, die entweder über die Kontrolle des Belastungsstromes mechanisch (Bimetall) oder mit Hilfe elektronischer Mittel (elektronische Auslöser) die Temperatur in dem zu schützenden Betriebsmittel nachbilden und bei Überschreiten eines eingestellten Grenzwertes ein Signal geben oder auslösen. Teilweise werden auch direkt in die Wicklung eingegebene Temperaturfühler vorgesehen, die dieses Auslösersignal bei Überschreiten einer Grenztemperatur erzeugen.

Allen diesen Einrichtungen ist der Nachteil gemeinsam, daß sie nur nach einer festen Temperaturgrenze und ohne Gedächtnisfunktion arbeiten, so daß die Auswirkung der jeweils erreichten Betriebstemperaturen auf die Lebensdauer nicht erfaßt und nicht berücksichtigt wird.

Ebensowenig konnten von den bekannten Einrichtungen bisher die Auswirkungen von höheren Harmonischen erfaßt werden. Hierzu wurden zwar schon Vorschläge bekannt (DD-PS 2 47 551), die den Einfluß dieser Oberwellen sowohl proportional der Frequenz bzw. dem Quadrat der Frequenz erfassen, aber nur einmalige Vorgänge verarbeiten können.

Wesentlich ist weiter, daß insbesondere für ineinander verflochtene und voneinander abhängige Arbeitsabläufe die Sicherheit gegeben sein muß, daß kein Betriebsmittel, insbesondere ein Motor, unkontrolliert und unerwartet ausfällt. Dies setzt voraus, daß eine Kontrolle, Anzeige, Signalisierung über den Zustand des Motors, insbesondere über seine weitere Lebensdauer möglich sein muß. Deshalb muß sich die Überwachungs- und Schutztechnik an direkten Verschleißkriterien der Motorwicklung orientieren, die ihrerseits hauptsächlich von deren Temperatur abhängig sind.

Ein solches Verschleißkriterium stellt der sogenannte Lebensdauerverbrauch dar. In der US-PS 45 25 763 wird ein solches Verfahren zum Schutz von Elektromotoren und deren Lebensdauervorhersage auf der Basis der Bestimmung des Lebensdauerverbrauchs beschrieben. Der Grundgedanke dieses Verfahrens wird in Fig. 1 dargestellt.

In den Punkten P und Q wird ein thermischer Alterungszustand der Motorwicklung bestimmt und durch lineare Extrapolation bis zur Linie 1,0, d. h. über die Änderungsrate des Alterungszustandes zwischen P und Q, die Zeit  $t_n$  errechnet.  $t_n$  stellt diejenige Lebensdauer dar, die der Motor erreicht, wenn er so wie innerhalb des Zeitraumes zwischen den Punkten P und Q belastet würde. Diese Lebensdauer wird mit der gewünschten verglichen und in Abhängigkeit vom Vergleichsergebnis über eine Logikschaltung entschieden, ob der Motor abgeschaltet werden muß oder nicht.

Diese Lösung besitzt jedoch noch die folgenden entscheidenden Nachteile:

— Bei der Lebensdauerprojektion wird eine Gerade benutzt, deren Extrapolationsbereich mehrere Zehnerpotenzen größer ist als der Abstand der beiden Punkte, durch die diese Gerade gelegt wird, wodurch das — eventuell durch Zufälligkeiten bestimmte — Geschehen in einem extrem kleinen Bereich der Größenordnung Sekunden bis Minuten auf die gesamte Lebensdauer in der Größenordnung mehrerer zehntausend Stunden übertragen wird.

— Die Lebensdauerextrapolation erfordert entsprechende Schaltungen und Rechnungen und ist somit sehr aufwendig.

— Durch das Projektionsverfahren wird nur die Änderung des Alterungszustandes zwischen den Punkten, d. h. die Vorgesichte des Motors, wird nicht in die Auslöseentscheidung einbezogen. So ergibt das Punktpaar ( $P'$ ;  $Q'$ ) die gleiche Lebensdauerprojektion wie das Paar ( $P$ ;  $Q$ ), obwohl in  $P'$  und  $Q'$  eine wesentlich günstigere Lebensdauersituation besteht.

— Die durch Projektion ermittelte wird zwar immer mit der gewünschten Lebensdauer, die in der Regel die vom Hersteller für Normalbedingungen angegebene ist, verglichen, die für den Motoranwender sehr informative Restlebensdauer, die der Motor noch hätte, wenn er den Rest seiner Betriebszeit unter Normalbedingungen weiterlaufen würde, ist aber nicht ableitbar.

— Die angegebene Methode läßt keine von vornherein festlegbare und auf die für einen Motoranwendungsfall typischen Lastverläufe zugeschnittenen Schutzstrategie zu. Auf die Schwierigkeiten der Auswahl geeigneter Kriterien für den lebensdauerorientierten Motorschutz wurde auch an anderer Stelle hingewiesen, wo Grundlagen und Bedeutung von Lebensdauerverbrauchsmessungen für den Motorschutz behandelt werden (s. Busch, R.: Motorüberwachung auf der Basis der Bestimmung des Lebensdauerverbrauchs. Elektric 43 (1989)8, S. 287—289).

— Das angegebene Verfahren bezieht sich nur auf eine rein thermische Wicklungsalterung.

Das Ziel der vorliegenden Erfindung besteht darin, die beschriebenen Nachteile des bekannten Verfahrens zu vermeiden und eine an der Lebensdauer des zu schützenden bzw. zu überwachenden Verbrauchers, insbesondere Motors, orientierte Schutzeinrichtung zu schaffen, mit der eine unzulässige und zur unmittelbaren Zerstörung des Motors führende Überlastung verhindert wird, die aber gleichzeitig und insbesondere bei stark wechselnder Last die Belastbarkeit des zu schützenden Betriebsmittels voll ausnutzen läßt, um die oben geschilderten, durch vollständige Auslastung gegebenen energie- und materialökonomischen Effekte erzielen zu können. Ein weiteres Ziel besteht darin, das Verfahren so zu erweitern, daß eine an der gewünschten Lebensdauer orientierte Führung eines Motors oder Betriebsmittels mit einfacheren und genauer arbeitenden Mitteln ermöglicht wird und daß auch bei nicht vorgegebener Lebensdauer bzw. bei stark schwankender Last eine Signalisierung bei Erreichen eines wählbaren Wertes der erreichten Lebensdauer für die weitere Entscheidung für die Betriebsführung erfolgt.

Erfindungsgemäß werden ein Verfahren und die dazugehörige Hardware bzw. gerätetechnische Einrichtung vorgeschlagen, die aus einem einzigen Meßwert des Lebensdauerverbrauchs und dessen Vergleich mit der abgelaufenen Zeit bis zu dem Zeitpunkt, in dem der erwähnte Lebensdauerverbrauch gemessen wurde, Motorschutz- und/oder Motorführungsentscheidungen beim Erreichen dieses Zeitpunktes nach vorausbestimmten Alterungswerten der Motorwicklung ermöglichen und gleichzeitig die Kriterien für Motorschutz- und Führung in der Folgezeit in Abhängigkeit von der Vorgesichte des Motors berechnen. Diese Kriterien gelten bis zum Erreichen eines ebenfalls frei vorausbestimmbaren Wertes des Lebensdauerverbrauches zu einem Zeitpunkt, von dem ab die Kriterien für Motorschutz und Motorführung wiederum für die nächste

Etappe der Folgezeit neu bestimmt werden. Die Berechnung der Kriterien erfolgt dabei dergestalt, daß die gewünschte Lebensdauer bzw. deren Erwartungswert mit vorgegebener Genauigkeit gesichert bzw. erreicht wird.

5 Der Lebensdauerverbrauch wird dabei für beliebige Werte der ihn bestimmenden Faktoren stets so berechnet, als wäre er auf der Basis normaler Werte dieser Faktoren (bezüglich der Temperatur also beispielsweise bei der Grenztemperatur des verwendeten Isolermaterials) entstanden, so daß durch einfache Differenzbildung zwischen der vom Hersteller der Wicklung proklamierten Normallebensdauer und dem Lebensdauerverbrauch diejenige Restlebensdauer bestimmt werden kann, die sich ergibt, wenn der Motor vom Betrachtungszeitpunkt an unter Normalbedingungen, d. h. bei Nennlast weiterlaufen würde. Für die Einschätzung solcher Normallebensdauerwerte verfügt der Motoranwender über wesentlich mehr Erfahrung als für die Lebensdauereinschätzung unter anderen Bedingungen.

10 Insbesondere bei stark wechselnder Last, einem Hauptanwendungsgebiet des lebensdauerorientierten Motorschutzes oder -betriebes nutzt es dem Anwender mehr, diesen Wert zu kennen als denjenigen, der die Restlebensdauer darstellt, die der Motor erreichen würde, wenn er so weiterlaufen würde wie im vergangenen Meßintervall, obwohl auch dieser Wert nach dem hier vorgeschlagenen Verfahren bestimmt werden kann.

15 20 25

An je einem Ausführungsbeispiel für das Verfahren und für die gerätetechnische Gestaltung zur Realisierung des Verfahrens soll die Erfindung erläutert werden.

#### Ausführungsbeispiel des Verfahrens

Fig. 2 zeigt ein Lebensdauerdiagramm, in das der Lebensdauerverbrauch, der durch die Temperatur und gegebenenfalls durch die elektrische Spannung und die mechanische Belastung der Wicklung über das dafür gültige Lebensdauergesetz bestimmt wird, als Funktion der Zeit aufgetragen ist. Der Lebensdauerverbrauch ergibt sich dabei aus der Summe der Lebensdauerverbrauchswerte von  $n$  Intervallen der Länge  $\Delta t$ . Die Werte  $t_v(k)$  können entweder aus den Wicklungsdaten und den Streßfaktoren Temperatur, Spannung und mechanische Belastung berechnet werden oder sind einer Tabelle entnehmbar, die in einem Speicher stehen kann. Dabei ist die mögliche zeitliche Änderung der Streßfaktoren innerhalb des Intervalls  $\Delta t$  zu berücksichtigen.

Bewegt sich der durch  $t_v$  und  $t = n \cdot \Delta t$  gegebene Aufpunkt entlang der Geraden O—E, dann erreicht der Motor die Lebensdauer  $L_0$  (Normallebensdauer) von beispielsweise 30 000 Stunden, die in der Regel angestrebt wird. Bewegt er sich auf der Geraden O—E', dann ist die Lebensdauer  $0,5 L_0$ , also im Beispiel 15 000 Stunden und bewegt er sich auf der Geraden O—E'', dann ist sie  $1,5 L_0$ , also z. B. 45 000 Stunden.

Den möglichen zeitlichen Verlauf des auf die Intervalllänge  $\Delta t$  bezogenen Lebensdauerverbrauchs zeigt für die angegebenen drei Fälle die Fig. 3. Die gestrichelt eingezeichneten horizontalen Linien sind dabei die nach einer bestimmten Anzahl von Intervallen im Mittel zu realisierenden  $t_v(k)/\Delta t$ -Werte.

Um bei der Bewegung im Lebensdauerdiagramm nach Fig. 2 definierte "Schaltpunkte" bzw. "Entscheidungspunkte" zu bekommen, kann festgelegt werden, sich innerhalb einer beispielsweise durch die Geraden für

$0,9 L_0 (k_1 = 0,9)$  und  $1,1 L_0 (k_2 = 1,1)$

gegebenen Bereichs zu bewegen (s. schraffierten Bereich). Erreicht beispielsweise der Motor den Punkt  $P_1$  (der Lebensdauerverbrauch ist hier  $t_v = 1,11$   $t = 1,11 \cdot \Delta t$ )

oder

$t_v/t = 1,11$ ),

dann kann entweder die Belastung des Motors reduziert werden, oder er wird abgeschaltet. Unter Berücksichtigung der Lage des Punktes  $P_1$  wird nun ein Wert

$$m_1 = (t_v(k)/\Delta t)_1$$

derartig berechnet, daß bei ständiger zukünftiger Einhaltung dieses Wertes im zeitlichen Mittel der Aufpunkt sich entlang der Geraden  $P_1 - E$ , also direkt in die Richtung der gewünschten Lebensdauer  $L_0$  bewegt. Der im Punkt  $P_1$  berechnete Wert ergibt sich dann konkret zu:

$$m_1 = \frac{1 - \left( \sum_{k=1}^n t_v(k) \right) 1/L_0}{1 - (n \cdot \Delta t)_1 / L_0} = \frac{1 - \frac{-t_{v1}}{L_0}}{1 - \frac{t_1}{L_0}}$$

Ab dem Punkt  $P_1$  sind zwei Betriebsweisen möglich. Entweder man sorgt dafür, daß für den Rest der Betriebszeit die Werte  $t_v(k)/\Delta t$  im Mittel den Wert  $m_1$  annehmen oder man setzt  $m_1$  als oberen Grenzwert fest und schaltet den Motor bei dessen Überschreitung ab. Die zeitlichen Verläufe des bezogenen Lebensdauerverbrauchs ab Punkt  $P_1$  sind für diese beiden Fälle in Fig. 4 dargestellt.

Der zuletzt genannte Fall läßt sich leichter realisieren und wird deshalb hier weiter geschildert. Da die  $t_v(k)/\Delta t$ -Werte stets kleiner als  $m_1$  sind, bewegt sich der Aufpunkt im Diagramm nach Fig. 2 in Richtung des Punktes  $P_2$ , in dem die nächste Entscheidung für den in der Folgezeit zugelassenen Lebensdauerverbrauch zu fällen ist. In diesem Punkt gilt:

$$t_v = 0,91 t = 0,91 n \Delta t.$$

Die Lebensdauersituation hat sich also verbessert. Es liegt nun kein Grund vor, den Motor in der Folgezeit nicht höher zu beladen. Eine Begrenzung der Werte  $t_v(k)/\Delta t$  ist hier nicht notwendig (wohl aber eine Begrenzung beispielsweise der Wicklungstemperatur, die den Wert, für den der thermische Teil des Lebensdauergesetzes gerade noch gilt, nicht überschreiten darf), so daß der Aufpunkt sich auf beliebig steiler und beliebig geformter Kurve bewegen kann, bis der Punkt  $P_3$  erreicht ist. Hier ist es erforderlich, dem Aufpunkt wieder die richtige Bewegungsrichtung vorzuschreiben, was durch erneute Berechnung und Vorgabe eines Wertes

$$m_3 = \frac{1 - \frac{-t_{v3}}{L_0}}{1 - \frac{t_3}{L_0}}$$

geschieht, der die Bewegungsrichtung  $P - E$  in gleicher Weise wie oben für den Punkt  $P_1$  geschilderte, festlegt.

Die Strategie zur Gestaltung der Auslösekriterien ist dann im Punkt  $P_4$  die gleiche wie in  $P_2$ , in  $P_5$  die gleiche wie in  $P_1$  oder  $P_3$  usw. Auf diese Weise gelangt der Motor innerhalb des Toleranzbandes +10% zu seiner geplanten Lebensdauer. Es ist ohne weiteres klar, daß sowohl die Breite des Toleranzbandes, also der Öffnungswinkel der den schraffierten Bereich begrenzenden Geraden, als auch die Form dieser Geraden, beliebig gewählt bzw. vorgegeben werden können. Diese Vorgaben können entsprechend zu erwartender Belastungsverläufe oder unter anderen Aspekten realisiert werden. Fig. 5 zeigt zwei Beispiele.

Das geschilderte Verfahren legt den Gedanken nahe, den Motor über den Zeitraum seiner Lebensdauerbelastungsmäßig so zu führen, daß er sich durch Lastverstellung entlang der durch Fig. 2 gegebenen Geraden  $O - E$  oder  $O - E'$  oder  $O' - E''$  bewegt. Dazu ist als Istwert der jeweils aktuell errechnete Lebensdauerverbrauch mit dem durch die Sollkurve im Lebensdauerdiagramm gegebenen Sollwert (in Fig. 3 sind das die Werte 1 oder 2 oder 0,67) Regelungstechnisch zu verknüpfen. Das erzeugte Stellsignal realisiert die entsprechend dem aktuellen Istwert notwendige Änderung der Motorlast. Als Beispiel wird ein Förderband erwähnt, dessen Beladung durch Verstellen der Schieber eines Beladungsbunkers in Abhängigkeit von der Lebensdauerverbrauchssituation des Abtriebsmotors verstellt wird.

Ein Ausführungsbeispiel für die gerätetechnische Gestaltung zeigt Fig. 6 zum Schutz eines Motors als Beispiel für ein elektrisches Betriebsmittel. Der dargestellte Motor 1 soll rein thermisch altern, wie das bei Niederspannungsmaschinen der Fall ist, so daß die Wicklungstemperatur bzw. die Temperatur des Heißpunktes der Motorwicklung in der Schaltung zu verarbeiten ist. Diese Temperaturinformation wird, so wie in Fig. 6 dargestellt, entweder durch einen Temperatursensor oder durch eine Modelleinrichtung 2, die das Temperatursignal bzw. die thermische Beanspruchung aus elektrischen Größen der Maschine, wie Motorstrom und Motorspannung, und auch aus weiteren Einflußgrößen, wie z. B. Umgebungstemperatur, Motordrehzahl, Fremdkühlung u. a. reproduziert. An der in Fig. 6 strichpunktierter gezeichneten Trennlinie wird das Temperatursignal 3 eingespeist. Die Gestaltung der rechts von der Trennlinie angegebenen weiteren erfundungsgemäß Schaltung ist unabhängig von der Art und Weise der Temperaturbestimmung. Erreicht die Temperatur einen ersten einstellbaren Grenzwert, wird durch das Schwellwertglied 5 und den Auslöser 6 Alarm ausgelöst. Erreicht sie einen zweiten Grenzwert, oberhalb dessen die Wicklung irreversible Schäden erleiden würde, wird sie über das Schwellwertglied 5 und den Auslöser 6 vom Netz getrennt, wobei diese Sofortauslösung durch 26 angezeigt werden kann. Ansonsten wird die Maschinen-temperatur im Zeittakt  $t$  in dem Element 11 abgetastet und aus den Intervallrandwerten  $9(k-1)$  und  $9(k)$  diejenige (konstante) Äquivalenttemperatur  $T_{\text{äqu}}$  ermittelt, die den gleichen Lebensdauerverbrauch bewirkt wie die im Zeitintervall gewöhnlich veränderliche Temperatur. Durch eine funktionelle Zuordnung (Speicher oder Mathematische Gleichung), die auf dem für die Wicklung geltenden Lebensdauergesetz basiert, wird in dem Element 11 eine Größe  $t_v(k)/\Delta t$  gewonnen, die die Alterung des Motors in bezug auf die laufende Betriebszeit beschreibt. In einer Multiplikationsstufe 12 erhält man daraus den eigentlichen Lebensdauerverbrauch, der in einer Integrationsstufe 13 aufsummiert und unverlierbar in einen Speicher 14 abgelegt wird. Durch Differenzbil-

dung in dem Glied 15 zwischen der im Speicher 14 eingegebenen oder einer bei beliebiger Last gewünschten Normallebensdauer  $L_0$  und dem kumulierten Lebensdauerverbrauch  $t_v$  wird diejenige Restlebensdauer des Motors erhalten, die er erzielen würde, wenn er den Rest seiner Betriebszeit unter Normalbedingungen, also z. B. bei der Wicklungsgrenztemperatur, laufen würde (in Fig. 2 entspricht diese Größe dem senkrechten Abstand des Aufpunktes von der horizontalen Linie  $t_v = L_0$ ). Dieser sehr wichtige Wert wird bei 16 zur Anzeige gebracht. Möglich ist auch aus diesem Wert eine Anzeige 25 der Restlebensdauer  $L_R$  bei verschiedener Belastung als Vielfaches  $n$  der Nennleistung  $P_N$  vom Motor 1. Weiterhin wird  $t_v$  zusammen mit der Zeit einer Echtzeituhr 17 in einem Quotientenbildner 18 verarbeitet. Das Ausgangssignal der Echtzeituhr 17 ist dabei diejenige Zeit, innerhalb der während der gesamten Motorbetriebszeit der Lebensdauerverbrauch nicht vernachlässigbar ist. In Phasen sehr niedriger Wicklungstemperatur kann sie also abgeschaltet sein. 20

Der ermittelte Quotient  $t_v/t$  charakterisiert die Lage des Aufpunktes im Lebensdauerdiagramm und dieser Wert ist deshalb in einer Entscheidungslogik 19 zu verarbeiten. Wird durch die  $k_1$  festgelegte untere Grenzlinie erreicht oder unterschritten, dann wird der Komparator so beeinflußt, daß selbst bei sehr großen Werten von  $t_v(k)/\Delta t$  der Schwellwert für eine Auslösung nicht erreicht wird. Wird die durch  $k_2$  bestimmte obere Grenzlinie im Lebensdauerdiagramm erreicht oder überschritten, dann erfolgt eine Signalisierung oder Anzeige z. B. auf einem Display 22 und bei Andauern der Überlastung eine direkte oder über das Zeitglied 23 eine zeitverzögerte Auslösung des Motors 1 durch den Schwellwertschalter 21, falls keine Rückstellung durch die Resettaste 24 erfolgt. Gleichzeitig wird der invertierende Einzug des Komparators 20 so beschaltet, daß die Werte  $t_v(k)/\Delta t$  entsprechend dem ermittelten  $m$ -Wert begrenzt werden. 30

Da, wie beschrieben, alle Parameter frei eingegeben werden können, erhält man so ein sehr flexibles Schutzsystem relativ geringen Aufwandes, welches in der Lage ist, einen hochausgelasteten Motor, der aus Gründen der Energie- und Materialeinsparung Betriebsphasen mit teilweise erheblich über der bisherigen traditionellen Grenze liegender Wicklungstemperatur hat oder haben muß, wirkungsvoll zu schützen. 45

Da ein Großteil der in Fig. 6 dargestellten Funktionen in einen Mikrorechner implementiert werden können, ergeben sich beispielsweise bei Verwendung eines Einchipmikrorechners bzw. Mikrocontrollers besonders kostengünstige Lösungen für ein entsprechendes Schutz- oder Regelgerät. 50

Auf die Darstellung der oben bereits im Text beschriebenen Regelfunktionen wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit in Fig. 6 verzichtet. 55

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Schutz und Führen von Elektromotoren, anderen elektrischen Betriebsmitteln oder Elektroanlagen nach Kriterien der Lebensdauer, die insbesondere durch die thermische Belastung bestimmt wird, unter Nutzung von Modelleinrichtungen und/oder Temperatursensoren zum Überwachen der Temperatur und Einrichtungen zum Bilden von Parameterwerten über die verbrauchte Lebensdauer und Einrichtungen zum Vorhersagen der jeweils verbleibenden Lebens- 60

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

dauer, gekennzeichnet dadurch, daß in definierten bzw. abhängig von der Betriebsweise des zu schützenden Motors bzw. elektrischen Betriebsmittels bestimmmbaren Meß-Zeitabschnitten ein dessen Lebensdauerverbrauch charakterisierender Meßwert gebildet wird und daß durch einen Vergleich mit der bis dahin abgelaufenen Betriebszeit der bisherige Lebensdauerverbrauch bestimmt wird und daß daraus wiederum Entscheidungen getroffen werden für den Motorschutz bzw. die Motorbetriebsführung für den nächsten Zeitabschnitt auf Basis der die Motorlebensdauer bestimmenden und durch einen Meßwert erfaßten Parameter.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zu einem beliebigen Zeitpunkt bzw. am Ende eines Meß-Zeitabschnittes für den Motor oder das elektrische Betriebsmittel der inzwischen angelaufene Lebensdauerverbrauch für eine beliebige oder für festgelegte Belastungen als Vielfaches der Nennbelastung angegeben wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß bei einer vorgegebenen zu erreichenden Lebensdauer eines Motors oder elektrischen Betriebsmittels aus dem jeweils festgelegten Lebensdauerverbrauch die weitere Belastung durch die anzureibende bzw. zu führende Last so eingestellt wird, daß die gewünschte Lebensdauer erreicht wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß mit bekannten Mitteln ein die thermische Belastung des zu überwachenden Motors bzw. elektrischen Betriebsmittels (1) charakterisierendes Temperatursignal gewonnen wird, dieses Temperatursignal in einem Zeittakt abgetastet wird, daraus eine die Lebensdauer bestimmende Äquivalenttemperatur gebildet wird, daraus mit Hilfe einer gespeicherten Funktion bzw. mathematischen Gleichung eine Größe gewonnen wird, die die Alterung des Motors bzw. elektrischen Betriebsmittels bezogen auf die bisherige Betriebszeit bestimmt, daraus in einer Multiplikationsstufe (12) die damit jeweils verbrauchte Lebensdauer ermittelt und diese integriert und in einem Speicher (14) abgelegt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß durch einen Vergleich der ermittelten und der gespeicherten verbrauchten Lebensdauer über eine Differenzbildung (15) mit einer eingebaren Normallebensdauer die noch verbrauchbare Restlebensdauer bei weiterhin gleicher oder verschiedener Belastung des Motors bzw. Betriebsmittels (1) gebildet und angezeigt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 3 bzw. 4, dadurch gekennzeichnet, daß das erfundungsgemäße Verfahren Teil einer größeren Steuerung einer industriellen Anlage ist.

7. Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für eine gesteuerte Betriebsführung des Motors bzw. Betriebsmittels (1) zum Erreichen der gewünschten Lebensdauer und der Möglichkeit einer vollen Auslastung auch bei veränderlichen Belastungen ein Quotient aus Gesamtbetriebszeit  $t$  und Lebensdauerverbrauch  $t_v$  gebildet wird, dieser einer Entscheidungslogik (19) zugeführt wird, dessen Ausgang einen Komparator (20) ansteuert, der bei einer Mehrbelastung, die die gewünschte Lebensdauer nicht mehr erreichen läßt, ein Signal gewinnt und sofort

oder nach einer über ein Zeitglied (23) gesteuerten Zeitverzögerung den Motor bzw. das Betriebsmittel (1) über Auslöser (6) vom Netz trennt bzw. abschaltet.

8. Einrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die den Betriebszustand beurteilenden Größen mittels Anzeige-Display (22; 25) angezeigt werden. 5

9. Einrichtung nach Anspruch 7 und 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Temperatursignal  $9t$  direkt 10 Schwellwertgliedern (4; 5) zugeführt wird, wovon eines bei einer wählbar eingestellten Temperatur des zu überwachenden Motors bzw. Betriebsmittels (1) eine Signalisierung über Anzeigeelemente (27) erzeugt und das andere Schwellwertglied (5) 15 vor Erreichen einer kritischen und irreversiblen Beschädigung hervorruft. Temperatur des Motors bzw. Betriebsmittels (1) eine sofortige Abschaltung über Auslöser (6) bei gleichzeitiger Signalisierung bewirkt. 20

10. Einrichtung nach Anspruch 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die gesamte Einrichtung und die dazu benötigten Einzelemente bzw. Einzelfunktionen in einem Einchipmikrorechner integriert sind. 25

11. Einrichtung nach Anspruch 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß durch einen modularen Aufbau der Einrichtung einzelne Funktionen in einer wahlweisen Kombination genutzt werden. 30

12. Einrichtung nach Anspruch 7 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die einzelnen Elemente der erfindungsgemäßen Einrichtung und die dazu erforderlichen peripheren Teile in einem Gerät bzw. Gehäuse integriert sind und dieses Gerät mit beliebigen Schaltgeräten oder Prozeßleiteinrichtungen 35 zusammenarbeiten bzw. kombiniert werden können. 35

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

40

45

50

55

60

65

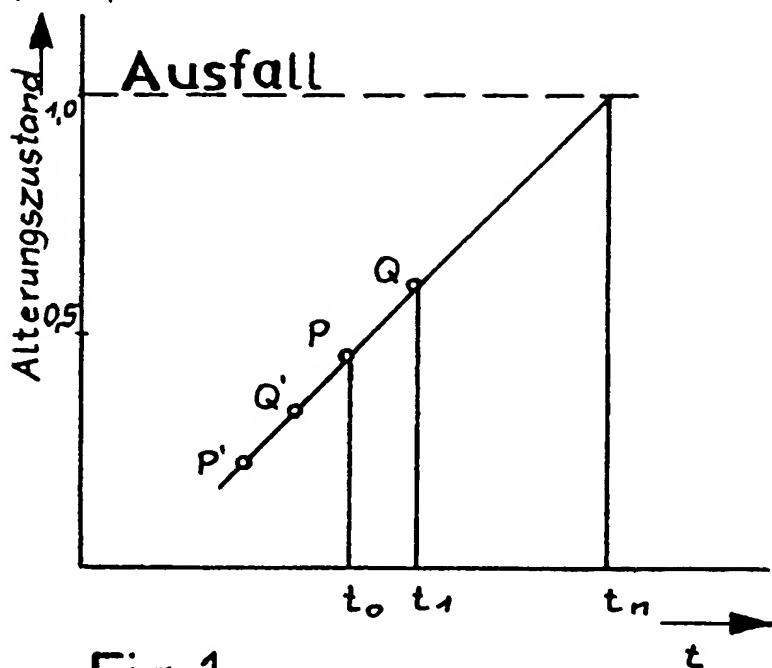


Fig. 1

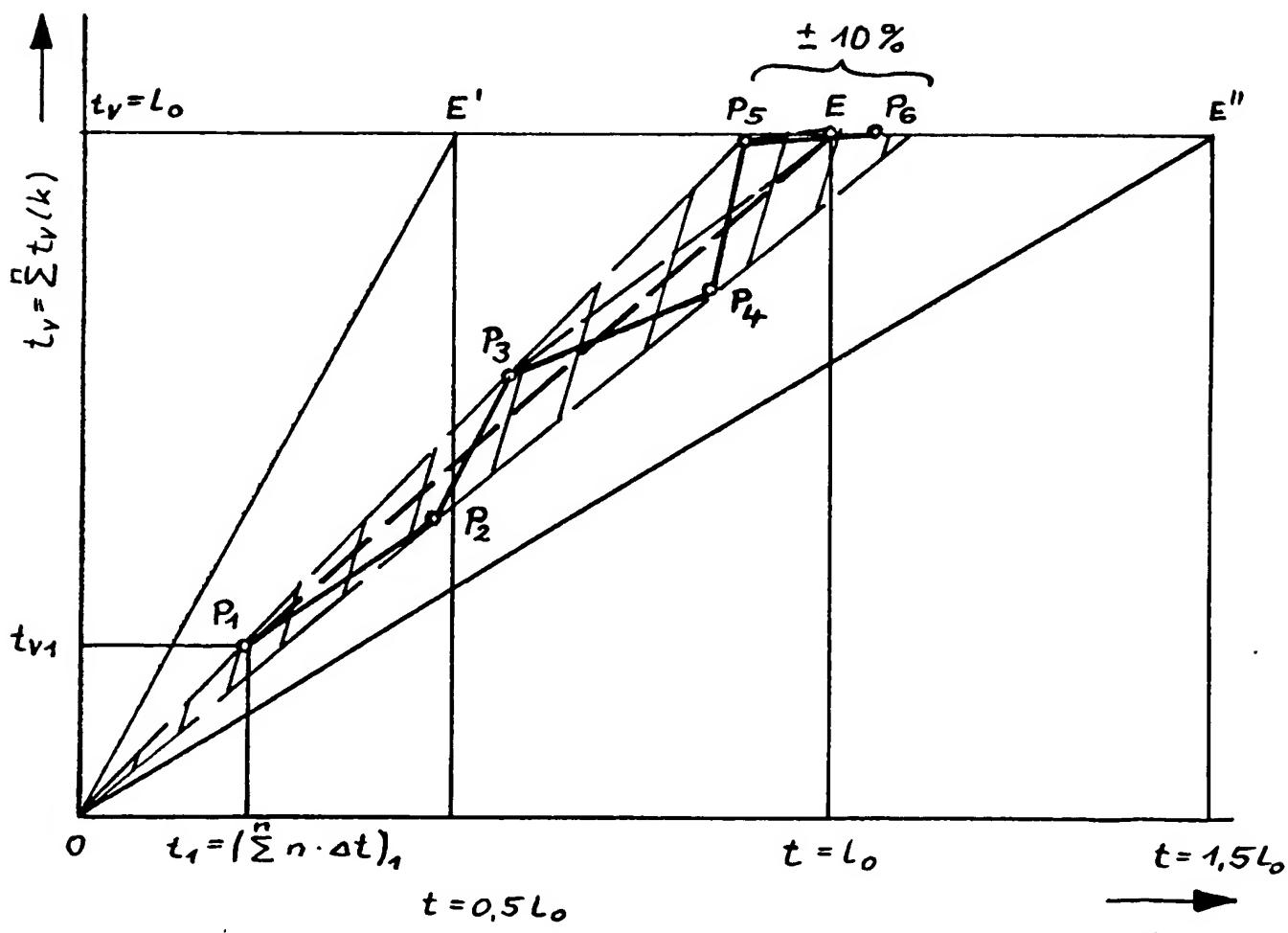


Fig. 2

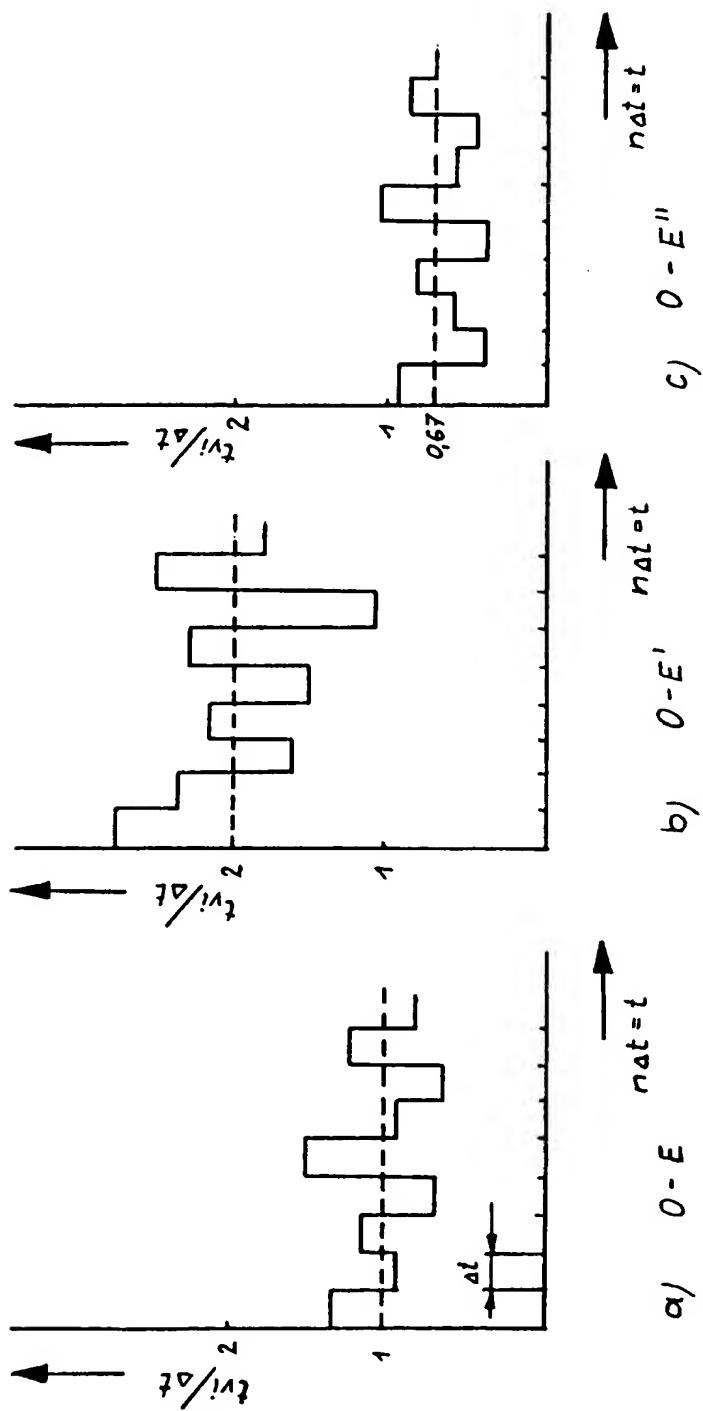


Fig. 3

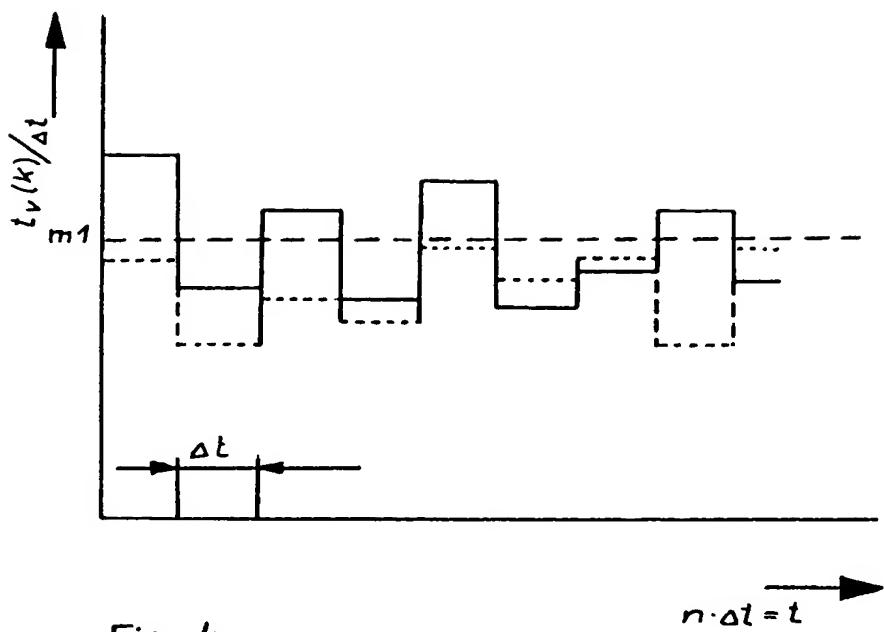
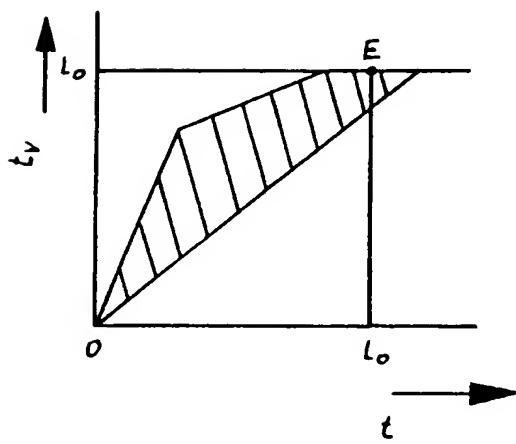
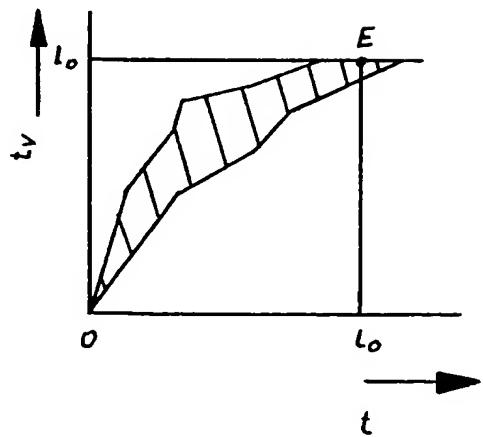


Fig. 4



a)



b)

Fig. 5

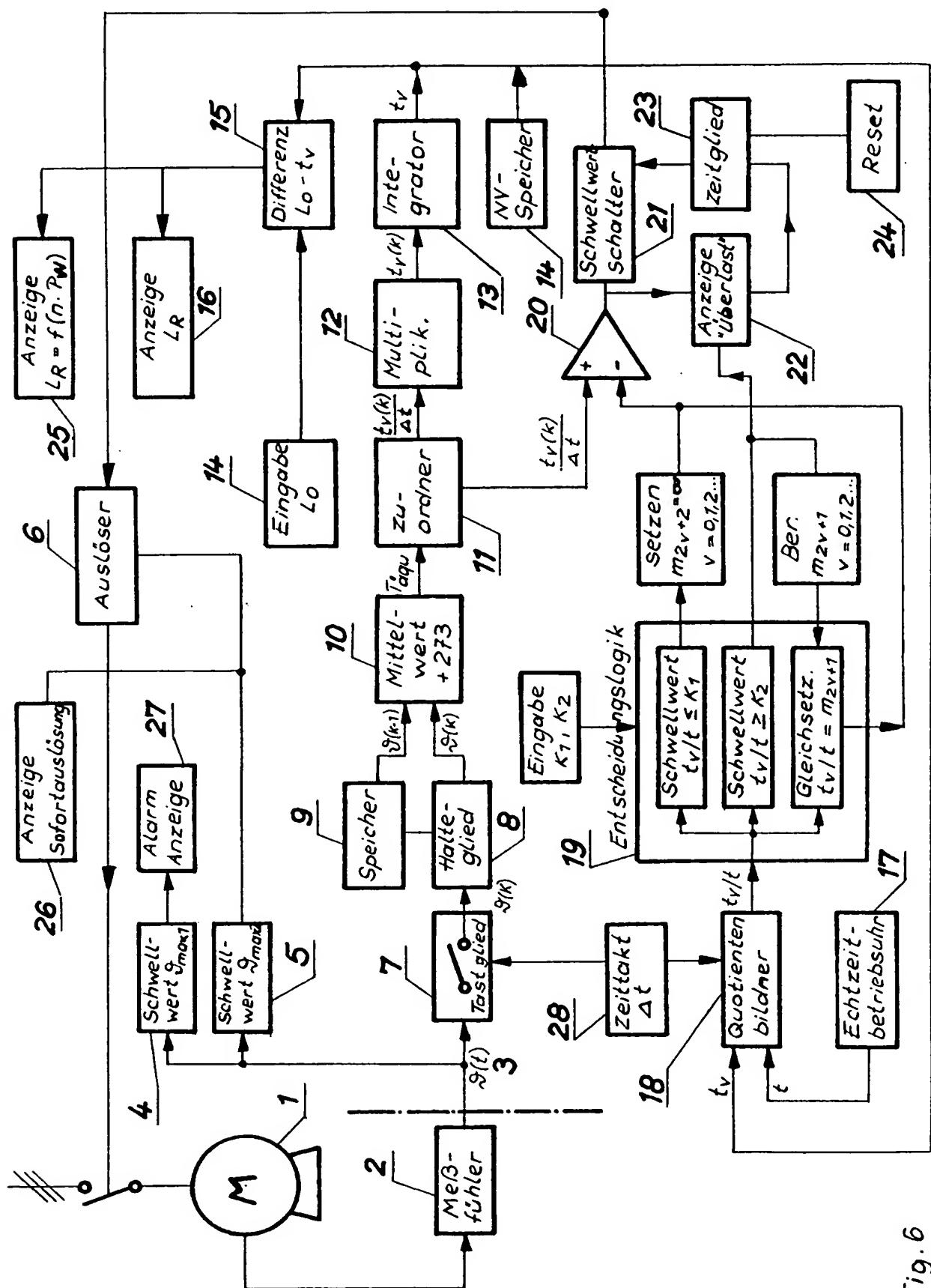


Fig. 6

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**